

## PENGARUH P-DELTA PADA STRUKTUR SISTEM *FLAT SLAB-DROP* PANEL PADA GEDUNG BERTINGKAT TIDAK BERATURAN

Harriad Akbar Syarif<sup>1</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>2</sup>, Ridwan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pasir Pengaraian, <sup>2,3</sup>Dosen Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau.

Email : [harriad@upp.ac.id](mailto:harriad@upp.ac.id) ; [zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id](mailto:zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id) ; [ridwan@eng.unri.ac.id](mailto:ridwan@eng.unri.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh p-delta pada struktur *flat slab-drop panel* meliputi pada setiap lantai tingkatannya. Struktur terdiri dari 19 lantai (tinggi total 62,7 m) dengan material beton bertulang menggunakan *dual system*, pembebanan yang terdiri dari beban mati, hidup dan gempa rencana yang menggunakan analisis respons spektrum berdasarkan SNI 1726-2012 di Kota Pekanbaru dengan fungsi bangunan sebagai hotel. Dengan tipikal denah struktur yang sama, struktur dibagi menjadi dua model, yaitu Model A (kondisi eksisting) dan Model B (sistem *flat slab-drop panel*). Pengaruh p-delta ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas ( $\theta$ ). Jika nilai  $\theta$  lebih kecil dari nilai koefisien stabilitas maksimum ( $\theta_{\max}$ ), maka pengaruh p-delta dapat diabaikan. Hasil penelitian dilakukan untuk arah X dan Y yang berdasarkan nilai  $\theta$ . Nilai koefisien  $\theta_{\max} = 0,909$  untuk kedua model struktur. Model A arah X dengan lantai tingkat dasar dan tingkat 6 menghasilkan  $\theta_x$  melebihi batas maksimal yaitu 1,13 dan 1,018. Sedangkan untuk arah Y hanya pada lantai tingkat 6 yang menghasilkan  $\theta_y$  melebihi batas maksimal yaitu 0,984. Untuk Model B arah X dengan lantai tingkat 7, 8, 9, dan 10 menghasilkan  $\theta_x$  melebihi batas maksimal secara berturut-turut yaitu 0,95 ; 1,015 ; 0,985 ; 0,944, sedangkan untuk arah Y lantai tingkat 6, 7, 8, dan 9 yang menghasilkan  $\theta_y$  melebihi batas maksimal secara berturut-turut yaitu 1,133; 1,605 ; 1,337 ; 1,039. Model B memiliki lantai tingkat yang lebih banyak dari Model A yang berpengaruh kepada efek p-delta yang terjadi. Pengaruh p-delta ini terjadi karena ketidakberaturan struktur yang terjadi secara horizontal maupun vertikal.

**Kata kunci :** p-delta, sistem *flat slab-drop panel*, respons struktur.

### ABSTRACT

*Abstract This research aimed to evaluate the influence of p-delta on the structure of flat slab-drop panels covering each floor level. The structure consists of 19 stories (total height of 62.7 m) with reinforced concrete materials using dual systems, loading consisting of dead load, life load and earthquake load plans that use spectrum response analysis based on SNI 1726-2012 in Pekanbaru City with the function as a hotel. With the same typical structure plan, the structure is divided into two models, namely Model A (existing condition) and Model B (flat slab-drop panel system). The effect of p-delta is determined based on the value of the stability coefficient ( $\theta$ ). If the value of  $\theta$  is smaller than the maximum stability coefficient ( $\theta_{\max}$ ), then the effect of p-delta can be ignored. The results of the study were carried out for the X and Y directions based on the value of  $\theta$ . Coefficient value  $\theta_{\max} = 0.909$  for both structural models. Model A X direction with the ground floor level and level 6 produces  $\theta_x$  exceeds the maximum limit of 1.13 and 1.018. As for the Y direction only on the 6th floor level that produces  $\theta_y$  exceeds the maximum limit of 0.984. For Model B the X direction with floors level 7, 8, 9, and 10 produces  $\theta_x$  exceeds the maximum limit respectively 0.95; 1.015; 0.985; 0.944, while for the Y direction floors 6, 7, 8, and 9 which produce  $\theta_y$  exceeds the maximum limit respectively 1.133; 1.605; 1.337; 1.039. Model B has more levels of floor than Model A that affects the p-delta*

*effect that occurs. The influence of p-delta is due to structural irregularities that occur horizontally or vertically.*

**Keyword:** *p-delta, flat slab-drop panel system, structural response.*

## PENDAHULUAN

Struktur gedung bertingkat beton bertulang sangat rawan terhadap keruntuhan jika tidak direncanakan dengan baik. Dalam perencanaan suatu struktur, jaminan adanya kekuatan, kekakuan dan kestabilan dalam segala kondisi pembebanan yang terjadi merupakan hal yang mendasar yang perlu diperhatikan[1]. Struktur yang dibebani akan mengalami perubahan bentuk (deformasi). Deformasi yang diakibatkan oleh beban relatif kecil yang akan mempunyai kecenderungan mengembalikan struktur ke bentuk semula maka struktur ini disebut struktur stabil. Tetapi jika, deformasi yang terjadi cenderung bertambah selama struktur dibebani sehingga struktur mudah mengalami runtuh maka struktur ini disebut struktur labil. Hubungan antara komponen struktur itulah yang biasa mendeteksi deformasi yang terjadi[2].

Perkembangan konstruksi di Indonesia sudah sangat maju, antara lain penggunaan sistem *flat slab* sebagai struktur utama. Sistem *flat slab* memungkinkan ketinggian struktur yang minimum, fleksibel dalam pemasangan saluran utilitas dan perpipaan [3]. Dengan ketinggian antar lantai yang minimum tinggi kolom-kolom dan pemakaian partisi relatif berkurang. Akan tetapi jika bangunan dengan sistem *flat slab* ini mengalami pembebanan horizontal maupun vertikal, bagian pertemuan kolom dan pelat dipaksa untuk menahan momen lentur yang cukup besar sehingga menjadikan titik tersebut merupakan sumber kelemahan struktur. Dengan alasan itu, pada ujung kolom diberi penebalan (*drop panel*) untuk meminimalisir konsentrasi tegangan akibat gaya geser [4]

(*punching shear*) yang terjadi pada sistem *flat slab* tersebut [5]. Penebalan ini berdampak pada bertambahnya gaya- gaya yang bekerja pada kolom seperti gaya aksial (P) karena berat sendiri dan gaya lateral (H) yang dapat terjadi karena beban gempa atau beban angin. Gaya lateral mengakibatkan kolom mengalami defleksi lateral ( $\Delta$ ), dengan demikian gaya aksial yang bekerja bergeser terhadap titik awal dalam arah lateral. Pada kondisi tersebut, kolom akan mendapatkan momen lentur tambahan (momen sekunder), kondisi ini disebut sebagai efek p-delta.

Efek p-delta akan berpengaruh terhadap kestabilan dan kapasitas kolom, maka perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur gedung bertingkat. Untuk struktur gedung dengan ketinggian lebih dari 10 lantai atau 40 m pengaruh p-delta harus diperhitungkan. p-delta merupakan gejala yang terjadi pada struktur bangunan gedung yang fleksibel dimana simpangan lateral akibat beban gempa menimbulkan beban tambahan yang terjadi oleh beban gravitasi[6].

## METODE

Penelitian ini berupa studi perencanaan gedung beton bertulang tak beraturan. Terdapat dua model yang akan dibandingkan, Model A merupakan bentuk eksisting (lantai *semibasement* dan lantai dasar menggunakan sistem *flat slab-drop*) dan Model B merupakan penggunaan sistem *flat slab drop panel* secara keseluruhan pada tiap lantai tingkat. Pemodelan dilakukan untuk memperoleh struktur gedung yang memiliki respons lebih baik terhadap beban gempa. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur yang diperoleh dari buku, peraturan/pedoman, maupun jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini. Literatur yang digunakan adalah literatur –literatur yang berkaitan

dengan masalah beban gempa. Level gempa menggunakan Peta 2% kemungkinan gempa rencana terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan [7]. Dalam desain struktur bangunan ini, pemodelan struktur dilakukan menggunakan *software* elemen hingga untuk analisis gaya dalam, pengecekan persyaratan struktur, analisis respons spektrum, pengecekan kriteria desain struktur tahan gempa yang sesuai data pengujian tanah pada lokasi struktur, yakni Pekanbaru. Parameter yang digunakan dalam analisis respons spektrum di peroleh berdasarkan data Peta Gempa *Hazard* 2017 sesuai koordinat lokasi yang diambil.

Tabel 1. Data Umum Struktur

Kriteria	Gedung
Sistem struktur	<i>Dual System Wall-frame</i> ;Beton bertulang
Fungsi gedung	Hotel
Jumlah lantai	19 lantai
Tinggi maksimum gedung	68,5 m
Jumlah lantai <i>basement</i>	2
Luas total gedung	28.050 m <sup>2</sup>
Mutu Material Beton	fc' Kolom, Dinding Geser = 35 MPa ;
Baja tulangan	Balok, <i>Drop Panel</i> , Pelat Lantai = 30 MPa fy = 400 MPa

Beban mati dan beban hidup diberikan sesuai ketentuan yang tercantum dalam SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Bangunan Lain [8] sedangkan beban gempa diberikan sesuai ketentuan yang tercantum dalam SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Respons spektrum merupakan konsep pendekatan yang digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Definisi respons spektrum adalah respons maksimum dari suatu sistem struktur *Single Degree of Freedom* (SDOF) baik percepatan, kecepatan dan perpindahan akibat struktur tersebut dibebani oleh gaya luar tertentu. Absis dari respons spektrum adalah periode alami sistem struktur dan ordinat dari respons spektrum adalah respons maksimum. Kurva respons spektrum akan memperlihatkan simpangan relatif maksimum ( $S_d$ ), kecepatan relatif maksimum ( $S_v$ ) dan percepatan total maksimum ( $S_a$ ) [9].

Parameter yang digunakan dalam analisis respons spektrum di peroleh berdasarkan data Peta Gempa *Hazard* 2017 sesuai koordinat lokasi yang diambil. Parameter – parameter yang digunakan dalam analisis respons spektra dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Data Respons Spektrum

No	Parameter	Nilai
1	Faktor Reduksi (R)	6
2	Faktor Keutamaan Bangunan (I)	1,25
3	Percepatan Respons Spektral MCE Periode Pendek, $S_s$	0,35
4	Percepatan Respons Spektral MCE Periode 1 detik, $S_1$	0,24
5	Kategori Resiko	III

Pengecekan akan p-delta untuk arah X dan arah Y sesuai SNI 1726-2012 Pasal 7.8.7. Pengaruh p-delta ditentukan berdasarkan nilai dari koefisien stabilitas ( $\theta$ ). Jika nilai  $\theta$  lebih kecil dari nilai koefisien stabilitas maksimum ( $\theta_{max}$ ), maka pengaruh p-delta dapat diabaikan. Dalam hal ini, nilai  $\theta_{max}$  merupakan acuan dalam menentukan kestabilan bangunan terhadap p-delta, diperoleh sebagai berikut.

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{xx} C_d}$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d}$$

dengan :

$\theta$  = Koefisien stabilitas.

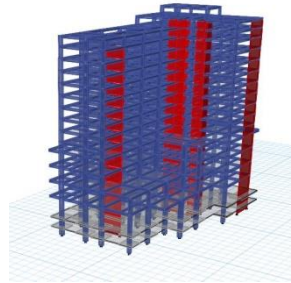
$P_x$  = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x (kN).

$\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat desain (Pasal 7.8.6) yang terjadi secara serentak dengan  $V_x$  (mm).

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa (Pasal 4.1.2).

$V_x$  = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x – 1 (kN).

B = Nilai resiko kebutuhan geser terhadap kapasitas geser.



Gambar 1. Pemodelan Struktur 3 Dimensi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

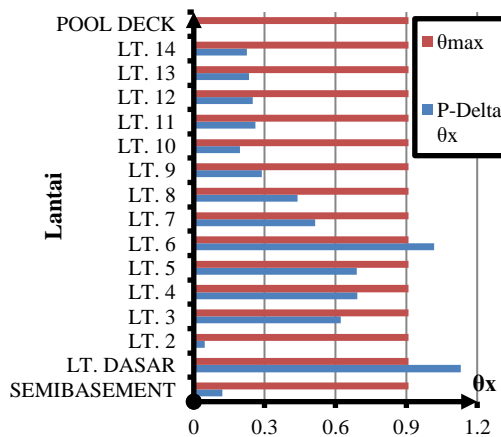
Gaya lateral yang bekerja pada struktur akan menyebabkan *drift* ( $\Delta$ ) dan menimbulkan eksentrisitas beban gravitasi terhadap sumbu vertikal (sumbu Z) pada kolom disetiap lantai tingkatnya. Efek p-delta akan membesar antara lain jika terjadi penambahan berat struktur. Hal ini disebabkan berat struktur akan mempengaruhi sifat beban gempa (H) dan gaya aksial (P). Dari hukum Newton diketahui bahwa gaya merupakan hasil kali antara massa dan percepatan ( $F = m \cdot a$ ). Percepatan adalah

perubahan kecepatan pada suatu waktu yang sangat dipengaruhi gerakan gempa, sedangkan massa merupakan besaran yang tergantung pada berat struktur gedung itu sendiri.

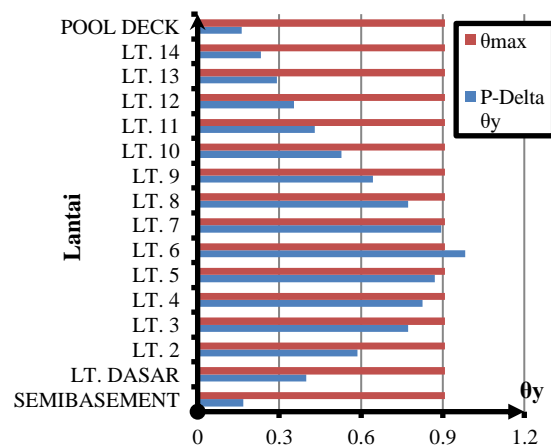
Contoh perhitungan untuk lantai dasar Model A arah X :

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{xx} C_d} = \frac{315216,05 \cdot 585,2 \cdot 1,25}{11590,42 \cdot 3200,55} = 1,13 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} = \frac{0,5}{0,1 \times 5,5} = 0,909$$

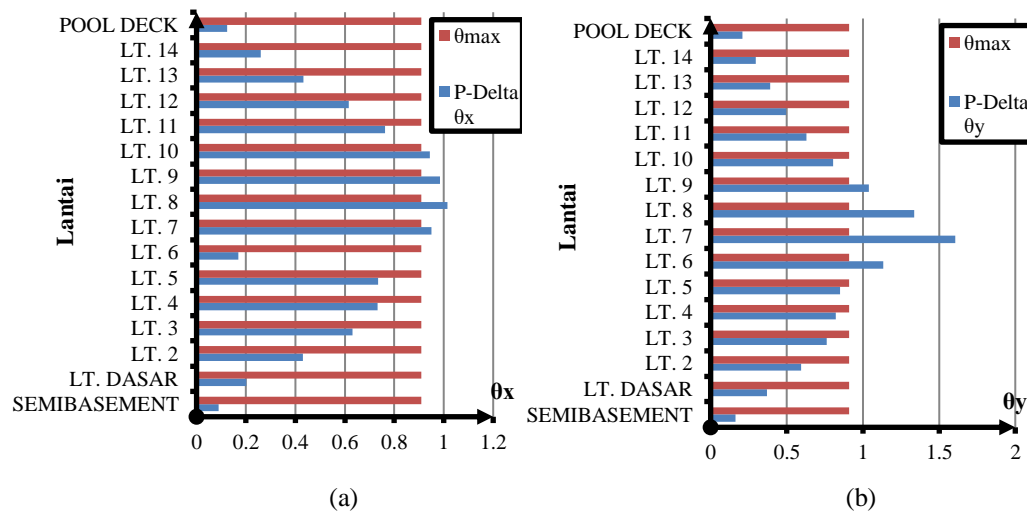


(a)



(b)

Gambar 2. Grafik Efek P-Delta untuk Gempa Model A, (a) arah X (b) arah Y



Gambar 3. Grafik Efek P-Delta untuk Gempa Model B, (a) arah X (b) arah Y

Terjadinya efek p-delta dipengaruhi oleh ketidakberaturan bentuk struktur, berdasarkan kriteria-kriteria yang ditetapkan dalam pasal 7.3.2 SNI 1726-2012. Ketidakberaturan tersebut dapat dibedakan berdasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur bangunan tersebut. Struktur bangunan yang dikategorikan memiliki ketidakberaturan vertical atau horizontal harus memenuhi persyaratan tambahan tertentu, sehingga menjamin keamanan penggunaan bangunan gedung tersebut [10].

## SIMPULAN

Pada struktur Model A terjadi efek p-delta dari arah X dan Arah Y dengan  $\theta_{max}$  yang diizinkan sebesar 0,909. Untuk arah X terjadi pada lantai tingkat dasar dan 6. Lantai tingkat dasar memiliki nilai  $\theta = 1,13$  dan lantai tingkat 6 memiliki nilai  $\theta = 1,018$ , yang berarti melebihi dari  $\theta_{max}$  yang diizinkan. Sedangkan untuk arah Y terjadi pada lantai tingkat 6 saja dengan nilai  $\theta = 0,94$ . Pada struktur Model B terjadi efek p-delta dari arah X dan Y dengan  $\theta_{max}$  yang diizinkan sebesar 0,909. Untuk arah X terjadi dari lantai tingkat 7 – 10 dengan nilai  $\theta$  berturut-turut adalah 0,95; 1,015; 0,985;

0,944, sedangkan untuk arah Y terjadi dari lantai tingkat 6 – 9 dengan nilai  $\theta$  berturut-turut adalah 1,133; 1,605; 1,337; 1,039. Lantai tingkat tersebut berarti melebihi dari  $\theta_{max}$  yang diizinkan.

Efek ketidakberaturan juga berdampak terhadap peningkatan kekuatan perlu dari struktur. Efek ini akan menimbulkan p-delta apabila tidak dipertimbangkan dengan tepat. Hasil analisis tidak semuanya menggambarkan perilaku struktur yang sebenarnya dan akan berpotensi menimbulkan kegagalan. Sehingga didalam analisis sebaiknya mempertimbangkan semua faktor perilaku struktur seperti proses penentuan kekuatan tersedia (kapasitas), kekuatan perlu (gaya dalam akibat beban luar), konfigurasi struktur secara vertikal maupun horizontal dan proses desain lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. L. Purba, "Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Beraturan Dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012," *J. Tek. Sipil dan Lingkung. Univ. Sriwij.*, vol. 2, no. 4, pp. 710–717, 2014.
- [2] Irdhiani, "Analisis Deformasi Dua

Dimensi pada Raft Footing di Atas Tanah Lunak Akibat Beban Bangunan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Sipil Univ. Tadulako*, pp. 9–20, 2015.

[3] K. Navyashree and T. S. Sahana, “Use of Flat Slabs in Multi-Storey Commercial Building Situated in High Sesmic Zone,” *Int. J. Res. Eng. Technol. IJRET*, vol. 3, no. 8, pp. 439–451, 2014.

[4] P. Olmati, J. Sagaseta, D. Cormie, and A. E. K. Jones, “Simplified Reliability Analysis of Punching in Reinforced Concrete Flat Slab Buildings Under Accidental Actions,” *Eng. Struct.*, vol. 130, pp. 83–98, 2017.

[5] J. Halvonik and L. Fillo, “The Maximum Punching Shear Resistence of Flat Slabs,” *Procedia Eng.*, vol. 65, pp. 376–381, 2013.

[6] N. Widyadhana, L. Susanti, and Wisnumurti, “Pengaruh Ketidakberaturan Bukaannya Rumah Tinggal Satu Lantai Terhadap Kapasitas Beban Gempa,” *J. Tek. Sipil Univ. Brawijaya*, 2017.

[7] SNI 1726, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung,” 2012.

[8] SNI 1727, “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain,” 2013.

[9] A. Hariyanto, “Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum,” 2011.

[10] Tavo and U. Wijaya, *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*, vol. 03. 2018.

